اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر رشد، میزان ژل و برخی عناصر در آلوئه‌ورا تحت شرایط گلخانه‌ای

صدیقه محمودی[1*]، عبدالرحمان محمدخانی[1] و وحید روحی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۳)

چکیده

آلوئه‌ورا از جمله گیاهان دارویی مقاوم به خشکی و گرما است که ژل آن در صنایع دارویی، بهداشتی و غذایی کاربرد زیادی دارد. این آزمایش در سال ۱۳۹۱ به منظور بررسی اثر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر وزن برگ و ژل و درصد و نسبت برخی عناصر در آلوئه‌ورا در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد اجرا گردید. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل غلظت‌های صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم و ترکیب این دو نمک بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اثر شوری بر وزن تر و خشک برگ‌ها و ژل، درصد سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و نسبت‌های K/Na و Ca/Na برگ معنی‌دار بود. افزایش غلظت نمک‌های NaCl، $CaCl_2$ و یا ترکیب آنها باعث کاهش درصد منیزیم، کلسیم و پتاسیم بافت، میزان ژل و عملکرد برگ گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که آلوئه‌ورا چندان در برابر شوری متحمل نیست و کشت آن در شرایط خاکی با شوری بیش از ۷ دسی‌زیمنس بر متر توصیه نمی‌شود. به طور کلی، در شرایط EC یکسان، اثر سمیت کلرید سدیم بیش از کلرید کلسیم است و توجه به تغذیه پتاسیم و کلسیم در شرایط تنش شوری اهمیت زیادی دارد.

واژه‌های کلیدی: آلوئه‌ورا، تنش شوری، ژل، عناصر معدنی

مقدمه

آلوئه‌ورا، یا صبر زرد، با نام علمی *Aloe vera* L. از خانواده Liliaceae از زمان‌های قدیم در طب سنتی برای درمان بسیاری از بیماری‌ها به کار می‌رفته است (۸). کاربرد تجاری ژل آلوئه در صنایع دارویی، بهداشتی و غذایی بیش از ۵۰ سال قدمت دارد (۳۱). امروزه، بسیاری از شرکت‌ها آن را به دلایل مختلفی از جمله خواص ضد تورمی، ضد سوختگی و مرطوب کننده بودن، به محصولات آرایشی و بهداشتی خود اضافه می‌نمایند (۸). آلوئه از گونه‌های مقاوم به خشکی با متابولیسم اسید کراسوله‌ای (CAM) می‌باشد (۲۱). معمولاً گیاهان CAM از نظر مقاومت به شوری، حد واسط گیاهان C_3 و C_4 قرار دارند (۴). یکی از مزیت‌های مهم این دسته از گیاهان زیاد بودن کارانی مصرف آب و توان سازگاری در مناطق خشک و بیابانی می‌باشد (۴). کوتیکول ضخیم در سطح برگ، نسبت سطح به حجم کم، بسته ماندن روزنه‌ها در طول روز، سلول‌های بزرگ پارانشیمی و واکوئل‌هایی با ظرفیت زیاد ذخیره آب از جمله

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahmoudi2465@yahoo.com

خصوصیات مورفولوژیک و آناتومیک گیاهان CAM هستند که تلفات آب را به حداقل می‌رسانند (۱۶). با توجه به این که یکی از ابعاد خسارت شوری در گیاهان، اثر اسمزی و در نتیجه کاهش جذب آب است، بنابراین تحمل نسبتاً زیاد این گیاهان در برابر تنش شوری دور از انتظار نیست (۲۴).

شوری آب و خاک از جمله تنش‌های غیر زیستی مهم در بسیاری از مناطق جهان، از جمله ایران، است (۳). بخش وسیعی از کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. اگر چه مشکل اساسی کشاورزی در مناطق خشک، کمبود آب است، اما معمولاً در بسیاری از موارد شوری آب و خاک نیز مشکل را دوچندان می‌کند. سطح شوری بیش از ۲۶٪ از زمین‌های ایران در محدوده بین ۱ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (۱۳). عامل اصلی شوری در بیشتر مناطق، کلرید سدیم می‌باشد و بر همین اساس بیشتر پژوهش‌های شوری روی اثر کلرید سدیم متمرکز شده است. لیکن همواره املاح دیگری، از جمله کلرید کلسیم، نیز در خاک وجود دارند که سمیت برخی کمتر و برخی بیشتر از کلرید سدیم است (۱۰).

شوری از طریق کاهش پتانسیل اسمزی، اختلال در تعادل عناصر غذایی، سمیت یون‌ها و یا ترکیبی از این عوامل، باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (۱۵). کاهش یا توقف رشد ناشی از شوری با غلظت کل نمک‌های محلول، یا پتانسیل اسمزی آب و خاک، ارتباط مستقیم دارد (۲ و ۹). رشد گیاهان در شرایط شور کاهش یافته و برگ‌های کوچک‌تری نسبت به گیاهان معمولی تولید می‌کنند (۳). به دلیل تجمع بیش از حد سدیم و کلر در سلول‌ها و کاهش جذب دیگر عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم، عدم تعادل یونی رخ می‌دهد. تجمع مقادیر سمی نمک‌ها در آپوپلاست برگ‌ها موجب پسابیدگی و کاهش آماس و مرگ سلول‌های برگ و بافت می‌شود. آب‌کشیدگی سلول‌ها و نسبت زیاد سدیم به پتاسیم، از طریق غیرفعال کردن آنزیم‌ها، روی فرایندهای متابولیک، از جمله فتوسنتز، تأثیر می‌گذارد و باعث کاهش رشد می‌شود (۳۳). کاهش عملکرد ممکن است ناشی از اثر شوری بر قابلیت دسترسی و رقابت در جذب و انتقال، یا توزیع عناصر غذایی، در بافت‌های گیاه باشد (۱۰ و ۲۰). رحیمی و کافی (۷) گزارش کردند که شوری ناشی از کلرید سدیم باعث کاهش وزن تر و خشک برگ و ریشه، درصد مواد آلی و پتاسیم و افزایش سدیم در گیاه خرفه گردید. همچنین، گزارش شده که غلظت ۴۰ و ۷۰ میلی‌مولار کلرید سدیم پس از ۱۸ روز باعث کاهش ۳۵ و ۶۲ درصدی وزن تر اندام هوایی در خرفه گردیده است (۳۵).

پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی، کنترل روزنه‌ای، فتوسنتز، کارآیی میتوکندری و کلروپلاست نقش مهمی ایفا می‌کند (۲۷). گریفنبرگ و همکاران (۱۹) کاهش نسبت پتاسیم به سدیم، رشد و سنتز برخی ترکیبات آلی رازیانه را ناشی اثر آنتاگونیستی بین سدیم و پتاسیم می‌دانند. کاهش پتاسیم به رقابت سدیم و یا کلسیم موجود در نمک بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌های غشاء پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به دلیل عدم ثبات غشاء پلاسمایی نسبت داده شده است (۱۸). در سیب‌زمینی، تنش شوری ناشی از $CaCl_2$، وزن تر و خشک اندام هوایی و تعداد شاخه را بیش از NaCl کاهش داده است (۱۸). واریته‌های متحمل کلزا در مقایسه با ارقام حساس، در مواجهه با شوری کلرید سدیم و کلرید کلسیم، سدیم و کلر کمتر ولی پتاسیم، کلسیم و منیزیم بیشتری در بخش هوایی خود ذخیره می‌کنند (۱۵).

گزارش‌های اندکی در مورد آستانه تحمل شوری آلوئه‌ورا وجود دارد. زن و همکاران (۳۶) گزارش کردند که آلوئه‌ورا جزو گیاهان مقاوم به شوری به حساب نمی‌آید و معمولاً تنش شوری، ضمن کاهش رشد، درصد ماده خشک بافت را افزایش می‌دهد. مقبلی و همکاران (۲۹) اثر سطوح شوری آب آبیاری تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر را روی آلوئه مطالعه نموده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که در اثر EC برابر ۵ دسی‌زیمنس بر متر، از وزن تر برگ و ژل به میزان ۴۸٪

نسبت به شاهد کاسته می‌شود. نتیجه رسیده‌اند که در اثر EC برابر ۵ دسی‌زیمنس بر متر، از وزن تر برگ و ژل به میزان ۴۸ ٪ نسبت به شاهد کاسته می‌شود. در پژوهشی، اگر چه تیمار ۲ در هزار کلرید سدیم منجر به افزایش میزان ماده مؤثره آلوئین و باربالوئین در آلوئه‌ورا شده ولی شوری ۴ در هزار شاخص‌های رویشی این گیاه را به شدت کاهش داده است (۳۰).

با توجه به کاربرد روزافزون آلوئه‌ورا در صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی و باتوجه به مقاومت آن به گرما و خشکی (۳۶)، کشت این گیاه در مناطقی که قابلیت کشاورزی کمتری دارند نقش مهمی در اقتصاد کشور ایفا خواهد کرد. بر همین اساس، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر انفرادی و تلفیقی نمک‌های کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر شاخص‌های کمی و کیفی آلوئه‌ورا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۱ در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد به صورت گلدانی انجام گردید. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با دو نوع نمک (کلرید سدیم و کلرید کلسیم) شامل غلظت‌های صفر (شاهد)، ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم و ترکیب دو نمک به ترتیبی که در جدول ۱ مشاهده می شود بود. هر تکرار شامل یک گلدان ۱۰ لیتری با یک گیاه آلوئه‌ورا بود. نشاهای ۶ برگی به گلدان‌های حاوی خاک، پرلیت و شن، به نسبت حجمی مساوی، انتقال یافتند. یک ماه پس ازکشت، تیمارها (هر گلدان نیم لیتر) به فاصله هر هفته یک‌بار اعمال شدند. عملیات داشت شامل مبارزه با آفات و امراض و تغذیه با محلول غذایی هوگلند (هر دو هفته یک‌بار) برای کلیه تیمارها به‌طور یکسان انجام گردید. EC محلول‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به طولانی بودن دوره رشد آلوئه‌ورا، اعمال تنش شوری به مدت ۵ ماه ادامه یافت و سپس شاخص‌های مورد نظر مانند عملکرد برگ، وزن تر و خشک برگ و ژل و همچنین غلظت عناصر بررسی گردید. پس از جداسازی بخش رویی برگ، ژل داخل برگ‌ها به‌وسیله کاردک کاملاً جدا گردید و توزین شد (۲۲). وزن تر برگ‌ها و ژل با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. وزن خشک برگ‌ها با قراردادن برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در فضای آزمایشگاه و سپس به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تعیین گردید. وزن خشک ژل نیز با قراردادن ژل جدا شده از هر تکرار در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری گردید. غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم توسط دستگاه جذب اتمی(مدل Avian, AA۲۰) تعیین گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این تحقیق با استفاده از برنامه آماری SAS و MSTATC صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها در سطح $P \leq ۰/۰۵$ و با استفاده از آزمون LSD صورت گرفت. نمودارهای مربوطه با استفاده از برنامه Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

وزن‌تر و خشک برگ‌ها و ژل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر شوری ناشی از هر دو نمک و ترکیب آنها بر وزن تر و خشک برگ‌ها و همچنین وزن تر و خشک ژل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید.

نتایج مقایسه میانگین وزن تر و خشک برگ‌ها بیانگر آن است که با افزایش غلظت نمک، وزن این دو صفت کاهش پیدا کرده است. بیشترین وزن تر و خشک در تیمار شاهد و کمترین وزن مربوط به تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (۱۰dS/m) بوده است (شکل‌های ۱ و ۲). در ترکیب نمک‌ها نیز با افزایش غلظت نمک‌ها روند کاهشی مشاهده می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که بین درصد سدیم بافت با وزن‌تر و خشک برگ آلوئه‌ورا همبستگی منفی بسیار معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۱. EC محلول‌های تیمار شده

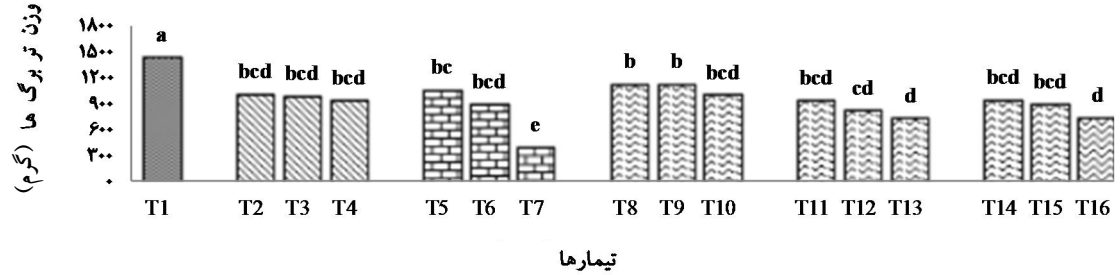
تیمار	ترکیب تیمار	EC (dS/m)
T_1	شاهد	۰/۳۴
T_2	$CaCl_2$- ۵ Mm	۱/۴
T_3	$CaCl_2$- ۱۰ Mm	۲/۵
T_4	$CaCl_2$- ۲۰ Mm	۴/۳
T_5	NaCl- ۳۰ Mm	۳/۷
T_6	NaCl- ۶۰ Mm	٦/۹
T_7	NaCl- ۹۰ Mm	۱۰
T_8	NaCl- ۱۵ Mm × $CaCl_2$-۲/۵ Mm	۲/۵
T_9	NaCl- ۱۵ Mm × $CaCl_2$-۵ Mm	۳/۱
T_{10}	NaCl- ۱۵ Mm × $CaCl_2$-۱۰ Mm	۴
T_{11}	NaCl-۳۰ Mm × $CaCl_2$-۲/۵ Mm	۴
T_{12}	NaCl-۳۰ Mm × $CaCl_2$-۵ Mm	۴/۵
T_{13}	NaCl- ۳۰ Mm × $CaCl_2$- ۱۰ Mm	۵/۵
T_{14}	NaCl- ۴۵ Mm × $CaCl_2$-۲/۵ Mm	۵/۴
T_{15}	NaCl- ۴۵ Mm × $CaCl_2$- ۵ Mm	٦/۱
T_{16}	NaCl- ۴۵ Mm × $CaCl_2$- ۱۰ Mm	۷/۵

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر شوری بر وزن تر و خشک برگ‌ها و وزن تر و خشک ژل آلوئه‌ورا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن‌تر برگ‌ها	وزن خشک برگ‌ها	وزن‌تر ژل	وزن خشک ژل
بلوک	۲	۳۴۱۸۷۴**	۱۱/۹۱ ^{ns}	۱۲۴۹۰ ^{ns}	۱/۸۵ ^{ns}
تیمار	۱۵	۱۴۶۲۱۸**	۳۸۹/۷**	۶۷۸۶۸**	۹/۳۹**
خطا	۳۰	۳۲۵۳۲	۸۵/۴۴	۶۵۶۷	۰/۶۱

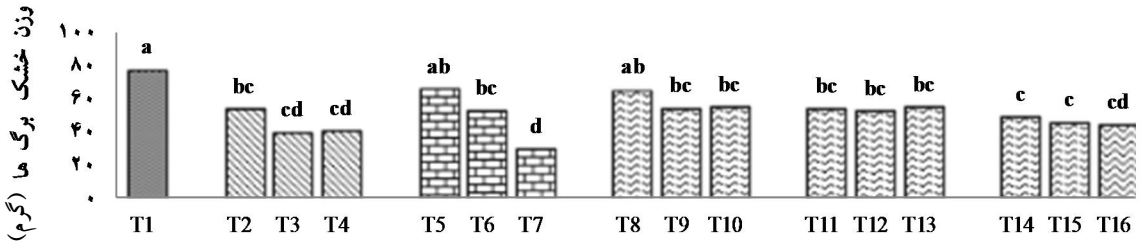
** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

این نتایج با نتایج رحیمی و کافی (۷) و عرشی و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. شوری، با تأثیر بر عوامل مختلف، باعث کاهشوزن تر و خشک گیاه می‌شود. کاهش وزن تر و خشک گیاه را می‌توان به تنش آب ناشی از شوری و به دنبال آن کاهش توسعه برگ‌ها نسبت داد. زمانی که پتانسیل آب سلول‌ها منفی‌تر شود، رشد سلول نیز کم خواهد شد و گیاهان با تنظیم اسمزی با سرعت کم به رشد خود ادامه می‌دهند. در صورتی که گیاه مدت طولانی در معرض شوری قرار گیرد تنش یونی را نیز تجربه می‌کند که باعث پیری زودرس برگ‌های بالغ و کاهش فرایند فتوسنتز می‌شود. افزایش شوری، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و به دنبال آن کاهش وزن تر و خشک گیاه را به همراه دارد (۱۱ و ۳۴).



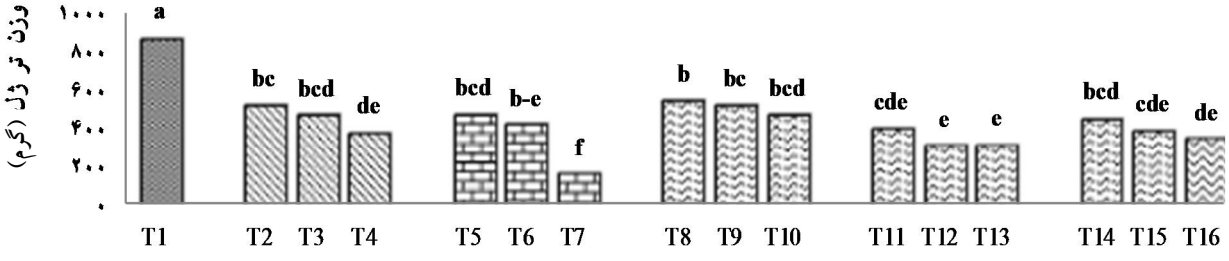
شکل ۱. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر وزن تر برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(T_1: control, T_2: $CaCl_2$- 5, T_3: $CaCl_2$- 10, T_4: $CaCl_2$- 20, T_5: NaCl-30, T_6: NaCl-60, T_7: NaCl-90, T_8: NaCl-15+$CaCl_2$-2.5, T_9: NaCl-15+$CaCl_2$-5, T_{10}: NaCl-15+$CaCl_2$-10, T_{11}: NaCl-30+$CaCl_2$-2.5, T_{12}: NaCl-30+$CaCl_2$-5, T_{13}: NaCl-30+$CaCl_2$-10, T_{14}: NaCl-45+$CaCl_2$-2.5, T_{15}: NaCl-45+$CaCl_2$-5, T_{16}: NaCl-45+$CaCl_2$-10)



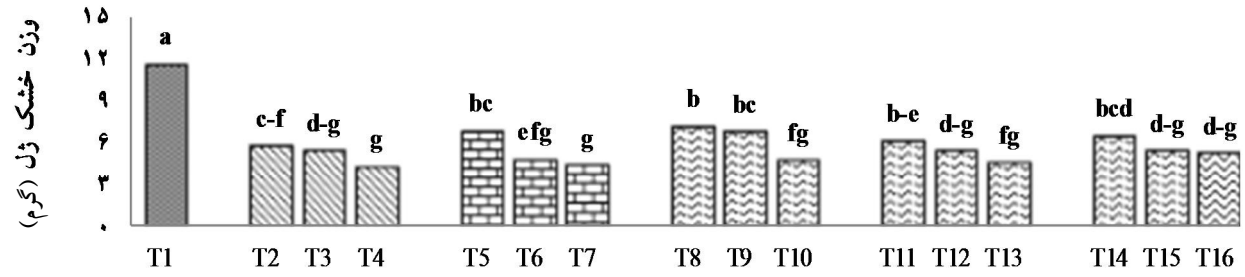
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر وزن خشک برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر وزن تر ژل. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر وزن خشک ژل. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)

مقایسه میانگین وزن‌تر و خشک ژل در تیمارهای مختلف آزمایشی بیانگر این است که با افزایش غلظت هر یک از نمک‌ها و ترکیب آنها، وزن تر و خشک ژل کاهش پیدا کرد؛ ولی اثر کاهشی در تیمارهای منفرد بیشتر از ترکیبی بود(شکل‌های ۳ و ۴). بیشترین وزن تر را تیمار شاهد و کمترین وزن را تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (۱۰ dS/m) داشتند. بیشترین وزن خشک ژل در تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به غلظت ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم می‌باشد(شکل ۴). به طور کلی، در چهار شاخص بررسی شده بالا، بجز در شاخص وزن خشک ژل، نمک کلرید سدیم اثر کاهشی بیشتری را نسبت به نمک کلرید کلسیم داشته است. در این پژوهش، همستگی منفی معنی‌داری بین وزن تر و خشک ژل با درصد سدیم بافت (به‌ترتیب ۰/۵۲- و ۰/۳-) و همبستگی مثبت بسیار معنی‌دار بین میزان ژل با نسبت Ca/Na (۰/۴۸)، K/Na (۰/۴۱) و درصد منیزیم بافت (۰/۴۵) آلوئه‌ورا مشاهده گردید. نتایج این پژوهش با نتایج ارائه شده توسط زن و همکاران (۳۶) و مقبلی و همکاران (۲۹) مبنی بر کاهش میزان ژل آلوئه‌ورا در اثر سطوح مختلف شوری ناشی از آب دریا و شوری ناشی از کلرید سدیم مطابقت دارد.

ژل آلوئه حاوی ۹۹٪ آب می‌باشد (۳۲). بنابراین، تغییر در میزان ژل را می‌توان به تغییر در میزان آب گیاه نسبت داد. زمانی که گیاه در معرض شوری قرار می‌گیرد، ابتدا تنش آب را تجربه می‌کند. افزایش مواد محلول در ناحیه ریشه و در نتیجه منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی، جذب آب را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تنش شوری اثرهای مختلفی بر فرایندهای فیزیولوژیک ازجمله تنفس، فتوسنتز، رشد و نمو، سمیت یونی، توزیع عناصر، ثبات و نفوذپذیری غشا دارد (۲۴) که این عوامل می‌توانند باعث کاهش مواد ذخیره‌ای و وزن تر و خشک ژل گردند.

غلظت عناصر در بافت گیاه

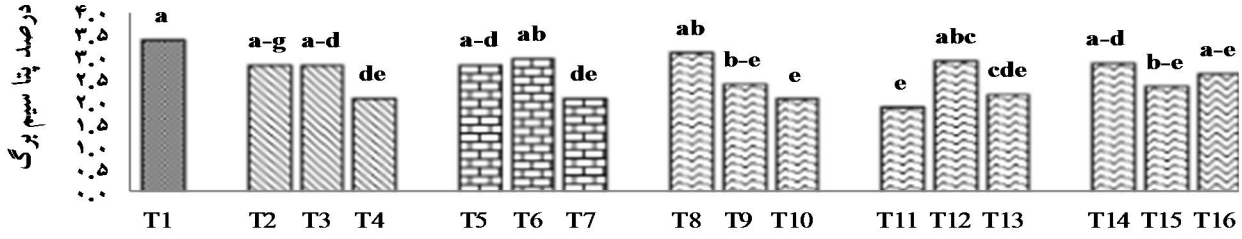
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری بر غلظت سدیم، کلسیم، منیزیم، نسبت پتاسیم به سدیم و نسبت کلسیم به سدیم برگ آلوئه‌ورا در سطح احتمال ۱٪ و بر غلظت پتاسیم در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت هر دو نمک، میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده و غلظت ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به شدت بر نسبت پتاسیم به سدیم اثر گذاشته و موجب کاهش این نسبت شده است (شکل‌های ۵ و ۶). بیشترین درصد پتاسیم بافت در تیمار شاهد و کمترین آن در تیمار ترکیبی NaCl-30+$CaCl_2$-2.5 مشاهده شد (شکل ۵). بیشترین نسبت K/Na در تیمار شاهد و کمترین نسبت در تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده گردید. همبستگی

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر شوری بر درصد پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم و نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم در برگ آلوئه‌ورا

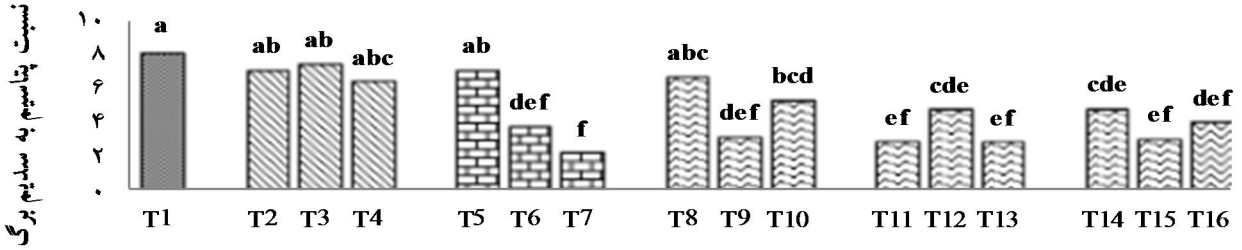
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پتاسیم	سدیم	کلسیم	منیزیم	پتاسیم به سدیم	کلسیم به سدیم
بلوک	۲	۰/۲۷ ns	۰/۰۸*	۰/۰۲۵ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۶/۸۶*	۱/۷۳**
تیمار	۱۵	۰/۵۵*	۰/۱۴**	۰/۲۶**	۰/۰۲۱**	۱۱/۰۷**	۲/۲۱**
خطا	۳۰	۰/۲۴	۰/۰۱۷	۰/۰۷	۰/۰۰۵	۱/۷۸	۰/۱۸

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر پتاسیم برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)

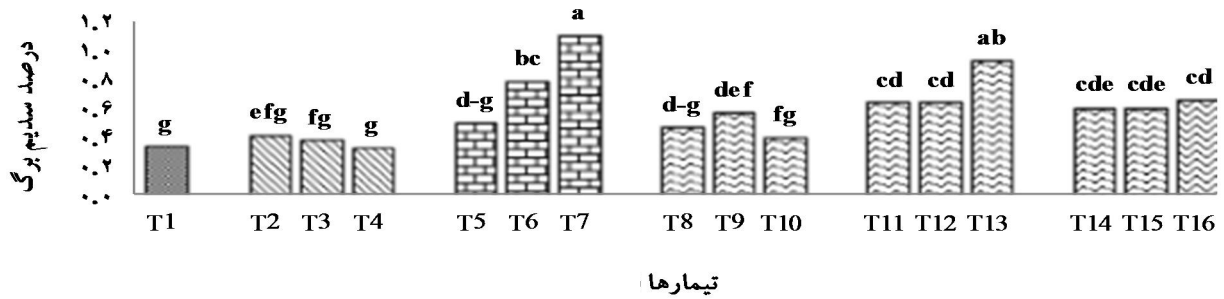
منفی بسیار معنی‌داری بین درصد سدیم بافت با درصد پتاسیم (۰/۶۴-) و نسبت K/Na (۰/۷۳-) وجود داشته است. این نتایج با گزارش گریفنبرگ و همکاران (۱۹) مطابقت دارد. کاهش پتاسیم تحت تأثیر شوری، ممکن است به‌دلیل رقابت آن با سدیم، کلسیم و منیزیم بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌های غشاء پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به دلیل عدم ثبات غشاء پلاسمایی باشد (۱۸).

شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کلرید سدیم، میزان سدیم برگ به صورت محسوسی افزایش یافته است و کمترین درصد سدیم مربوط به تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم و

جدول ۴. نتایج همبستگی شاخص‌های مورد بررسی

	صفت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	وزن تر برگ	۱									
۲	وزن خشک برگ	۰/۵۹**	۱								
۳	وزن تر ژل	۰/۷۵**	۰/۶۶**	۱							
۴	وزن خشک ژل	۰/۵۸**	۰/۶۵**	۰/۷۷**	۱						
۵	پتاسیم	۰/۲۱^{ns}	۰/۳۲*	۰/۲۸*	۰/۳۷**	۱					
۶	سدیم	−۰/۴۸**	−۰/۳۳*	−۰/۵۲**	−۰/۳۰*	−۰/۲۹*	۱				
۷	کلسیم	۰/۲۲^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۲^{ns}	−۰/۳۰*	۱			
۸	منیزیم	۰/۴۱*	۰/۴۳**	۰/۴۵**	۰/۵۳**	۰/۳۳*	−۰/۱۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۱		
۹	پتاسیم به سدیم	۰/۳۵*	۰/۳۶**	۰/۴۱**	۰/۳۸**	۰/۶۴**	−۰/۷۳**	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۱	
۱۰	کلسیم به سدیم	۰/۴۴**	۰/۲۶^{ns}	۰/۴۸**	۰/۲۵^{ns}	۰/۱۳^{ns}	−۰/۸۳**	۰/۴۸**	−۰/۰۵^{ns}	۰/۶۶**	

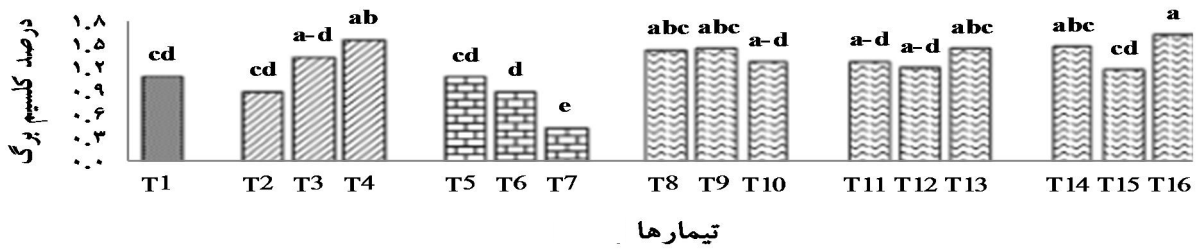
** ، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر سدیم برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

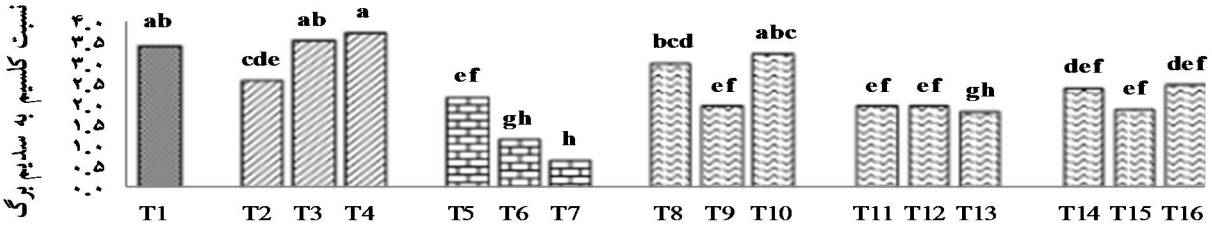
(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)

بیشترین درصد مربوط به تیمار ۹۰ میلی‌مولار می‌باشد. با افزایش غلظت کلرید کلسیم، درصد سدیم برگ کاهش یافته است. ترکیب نمک‌ها اثری حد واسط دو نمک داشت و افزایش نسبت سدیم در آنها نسبت به شاهد و در غلظت‌های ترکیبی بالا نسبت به کلرید کلسیم مشاهده شد (شکل ۷). نتایج این تحقیق با نتایج بیشتر محققین، از جمله رحیمی و کافی (۷) روی خرفه مطابقت دارد. کانال‌های یونی که توسط یون‌های آمونیوم فعال می‌شوند برای برخی کاتیون‌های تک‌ظرفیتی نظیر سدیم غیرانتخابی بوده و می‌تواند مقادیر زیاد سدیم را به برگ منتقل نماید (۶). همچنین، بیان شده که در غلظت زیاد نمک،حلقه کاسپاری نمی‌تواند به خوبی مانع ورود یون سدیم به داخل بافت‌های گیاه شود و به وسیله جریان یک طرفه آوند چوبی که به برگ‌ها ختم می‌شود، این یون‌ها به برگ‌ها منتقل می‌شوند. در مخلوط املاح، رقابت سایر کاتیون‌ها (Ca^{+2} و Mg^{+2}) نیز سبب کاهش جذب Na^{+} می‌شود (۱۳ و ۱۷). همین امر سبب شده که در اثر تیمارهای حاوی کلرید کلسیم رقابت بین کلسیم با سدیم منجر به افزایش کلسیم و کاهش درصد سدیم در بافت برگ گردد، به طوری که همبستگی منفی معنی‌داری (۰/۳−) بین درصد سدیم و درصد کلسیم بافت به دست آمد.



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر درصد کلسیم برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)

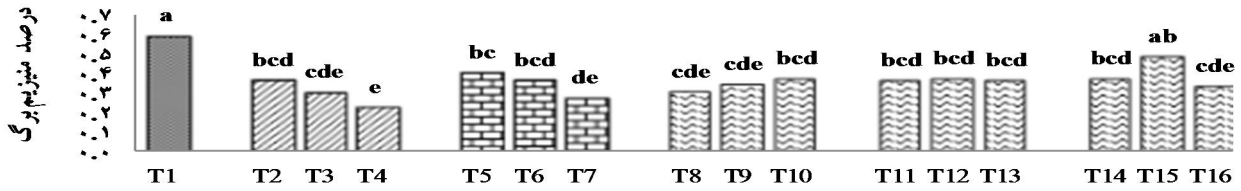


شکل ۹. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر نسبت کلسیم به سدیم برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)

مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که با افزایش غلظت کلرید سدیم، درصد کلسیم و نسبت Ca/Na، کاهش می‌یابد (شکل ۸)؛ در حالی که متناسب با افزایش کلرید کلسیم، نسبت Ca/Na و درصد کلسیم نیز سیر صعودی نشان می‌دهد (شکل۹). بیشترین درصد کلسیم بافت بر اثر تیمارهای ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم و NaCl-45+CaCl2-10 و کمترین میزان تحت تأثیر تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. بیشترین نسبت Ca/Na نیز در اثر تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم و کمترین نسبت در تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. به نظر می‌رسد در تیمارهای ترکیبی، کلرید کلسیم بر کلرید سدیم غالب شده و میزان کلسیم در مقایسه با شاهد و تیمارهای شوری بدون کلرید کلسیم افزایش یافته است (شکل ۸). کلسیم نقش بسیار مهمی در تنظیم ورود فعال سدیم و انتخاب بین سدیم و پتاسیم دارد (۱). گیاهان از کلسیم برای رهایی از تنش شوری استفاده می‌کنند. در هنگام شوری، میزان کلسیم سلولی افزایش می‌یابد و به عنوان یک پیام‌رسان ثانویه سبب می‌شود که پروتئین‌های مربوط به انتقال سدیم، این یون سمی به خارج از سلول و یا به واکوئل منتقل گردد (۲۸). در این پژوهش، کلرید کلسیم باعث افزایش و کلرید سدیم منجر به کاهش نسبت Ca/Na شده است. نسبت Ca/Na با وزن تر برگ (۰/۴۴) و ژل (۰/۴۸) همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری را نشان داد. ظاهراً یون سدیم باعث بیرون راندن کلسیم از غشاء سلولی شده و در نتیجه با افزایش در قابلیت نفوذپذیری غشا، غلظت سدیم داخل سلول افزایش می‌یابد (۲۵).

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت هر دو نمک، درصد منیزیم برگ کاهش یافته است. بیشترین و کمترین درصد منیزیم به‌ترتیب در اثر



تیمارها

شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر کلرید سدیم و کلرید کلسیم بر منیزیم برگ. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون LSD می‌باشند.

(توضیحات تیمارها شبیه شکل ۱ می‌باشد)

تیمارهای بدون نمک و ۲۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم حاصل شده است. همبستگی مثبت بسیار معنی‌دار بین درصد منیزیم بافت با وزن تر برگ (۰/۴۱)، وزن خشک برگ (۰/۴۳)، وزن تر ژل (۰/۴۵) و وزن خشک ژل (۰/۵۳) مشاهده گردید. این نتایج با بسیاری از گزارش‌های قبلی (۱۸ و ۲۶) هماهنگی دارد. به نظر می‌رسد نمک کلرید کلسیم اثر کاهشی بیشتری روی عناصر داشته است. منیزیم به طور غیرمستقیم در متابولیسم، فتوسنتز وفعالیت آنزیم‌ها در گیاهان نقش دارد (۵). در صورت زیاد بودن سدیم، جذب منیزیم کاهش یافته و باعث کلروز و در نتیجه اختلال در رشد رویشی و زایشی می‌شود (۵). نائینی و همکاران (۱۲) گزارش دادند که با افزایش میزان کلرید کلسیم تا ۴۰ میلی‌مولار، غلظت منیزیم برگ‌های فوقانی کاهش یافت و سپس ثابت ماند. هونگ و ردمان (۲۳) گزارش نمودند که در اثر شوری، کلسیم بافت کاهش ولی منیزیم افزایش می‌یابد که دلیل آن را به اثر رقابتی منیزیم با کلسیم نسبت داده‌اند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، شوری ناشی از هر دو نوع نمک کلرید سدیم و کلرید کلسیم و یا ترکیبی از آنها منجر به کاهش چشمگیر عملکرد برگ و ژل آلوئه‌ورا می‌شود. بنابراین، این گیاه چندان در برابر شوری متحمل نیست و کشت آن در شرایط با شوری بیش از ۷ دسی‌زیمنس بر متر توصیه نمی‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط EC یکسان، اثر سمیت کلرید سدیم بیش از کلرید کلسیم است و توجه به تغذیه پتاسیم و کلسیم در شرایط تنش شوری اهمیت زیادی دارد.

منابع مورد استفاده

۱. آخوندی، م.، ع. صفرنژاد و م. لاهوتی. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های یزدی، نیک شهری و رنجر (*Medicago sativa* L.). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۳۵(۱): ۱۶۵-۱۷۴.

۲. آل‌ابراهیم، م.، ن. صباغ نیا، ا. عبادی و م. محب‌الدینی. ۱۳۸۴. بررسی اثر تنش شوری و خشکی بر روی جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris*). مجله پژوهش در کشاورزی ۱(۱): ۱۳-۱۹.

۳. پاک‌پرور، م. و م. ابطحی. ۱۳۸۱. تعیین مناطق تحت اثر بیابان‌زائی با پردازش داده‌های ماهواره‌ای، الف: بررسی روند تغییرات شوری خاک، ب: بررسی روند تغییرات کاربری سرزمین. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۶(۱): ۲۷۵-۲۸۳.

۴. کافی، م.، م. لاهوتی، ا. زند، ح. شریفی و م. گلدانی. ۱۳۸۷. فیزیولوژی گیاهی. ترجمه، جلد ۱، جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۵۶ صفحه.

۵. جلیلی، ف.، ک. خاوری و ر. اسدی رحمانی. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت محرک رشد گیاه بر میزان جذب عناصر غذایی و رشد کلزا در شرایط شور. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، صفحات ۷۷-۷۸.

٦. حسنی شاهسوند، م. ۱۳۷۵. ارزیابی ارقام گندم ایرانی از نظر تحمل به شوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۷. رحیمی، ز. و م. کافی. ۱۳۸۹. مقایسه سطوح مختلف شوری و سیلیسیم در تولید زیست‌توده، مقدار سدیم و پتاسیم برگ و ریشه خرفه (*Portulaca oleracea* L.). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۴(۲): ۳۶۷-۳۷۴.

۸. رضایی، م.، گ. جایمند و و. مظفریان. ۱۳۷۵. شناخت گیاه صبر و ترکیب‌های دارویی و شیمیایی آن. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۱۶۸ صفحه.

۹. شهریاری، ا. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش شوری در دو گونه *Atriplex lentiformis* و *Atriplex verruciferum*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۰. محمدخانی، ع. ۱۳۷۲. تعیین مقاومت پایه‌های پسته به شوری با توجه به تغییرات شدت تنفسی، روزنه‌ها، جذب و انتقال عناصر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشگاه تهران.

۱۱. مومنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک ۲۴(۳): ۲۰۳-۲۱۵.

۱۲. نائینی، م. ر.، ح. لسانی، ا. ح. خوش‌گفتارمنش و م. ح. میرزاپور. ۱۳۸۲. اثر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر غلظت و توزیع عناصر معدنی و قندهای محلول سه رقم تجاری انار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (۱۲): ۱۱۲-۱۲۱.

13. Aliasgharzadeh, N., N. Saleh Rastin, H. Towfighi and A. Alizadeh. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of Tabriz plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. Mycorrhiza 11: 119-122.
14. Arshi A., A. Ahmad, I.M. Aref and M. Ighbal. 2010. Effect of calcium against salinity-induced inhibition in growth, ion accumulation and proline contents in *Cichorium intybus* L. J. Environ. Biol. 31(6): 939-44.
15. Ashraf, M. and T. McNeilly. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. Plant Sci. 23: 157-174.
16. Cushman, J.C. 2001. Crassulacean acid metabolism. A plastic photosynthetic adaptation to arid environments. Plant Physiol. 127(4): 1439-1448.
17. Etehadnia, M., J. Schoenau, D. Waterer and T. Karen. 2010. The effect of $CaCl_2$ and NaCl salt acclimation in stress tolerance and its potential role in ABA and scion/rootstock-mediated salt stress responses. Plant Stress 4(1): 72-78.
18. Ferreia-silva, S.L., J.A.G. Silveira, E.L. Voigt, L.S.P. Soares and R.A. Viegas. 2008. Changes in physiological indicator associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. Braz. J. Plant Physiol. 20(1): 51-59.
19. Graifenberg, A., L. Botrini, L. Giustiniani and M.L. Di Paola. 1996. Salinity affects growth, yield and elemental concentration of fennel. J. Hort. Sci. 31(7): 1131-1134.
20. Grattan, S.R. and C.M. Grieve. 1999. Salinity mineral nutrient relation in horticultural crops. Sci. Hort. 78: 127-157.
21. Hernandez, L.R., R. Rodriguez-Garcia, D.J. de Rodriguez and J.L. Angulo-Sanchez. 2002. Aloe vera response to plastic mulch and nitrogen. Purdue University, pp. 570-574.
22. Hu, Y., J. Xu and Q. Hu. 2003. Evaluation of antioxidant potential of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) extracts. J. Agric. Food Chem. 51(26): 7788-7791.
23. Hung, J. and R.E. Redmann. 1995. Solute adjustment to salinity and calcium supply cultivated on wild barley. J. Plant Nutr. 18(7): 1377-1389.
24. Kafi, M., H. Griffiths, A. Nezami, H.R. Kazaie and A. Sharif. 2007. Effect of salinity on carbon isotope discrimination of shoot and grain of salt-tolerant and salt-sensitive wheat cultivars. Asian J. Plant Sci. 6(8): 1166-1173.
25. Kefu, Z. 1988. Alleviation of NaCl induced injurious effects by calcium. Plant Physiol. 48: 1000-1002.
26. Khavari-Nejad, R.A. and N. Chaparzadeh. 1998. The effects of NaCl and $CaCl_2$ on photosynthesis and growth of alfalfa plants. Photosynthetica 35(3): 461-466.
27. Mannervik, B. and C. Gutenberg. 1981. Glutathione transferase. Methods Enzymol. 77: 231-235.
28. Meloni, D.A., M.A. Oliva, H.A. Ruiz and C.A. Martinez. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. J. Plant Nutr. 24(3): 599-612.

29. Moghbeli, E., S. Fathollahi, H. Salari, G. Ahmadi, F. saliqehdar, A. Safari and M.S. Hosseini Grouh, . 2012. Effects of salinity stress on growth and yield of *Aloe vera* L. J. Med. Plants Res. 6(16): 3272-3277.
30. Mustafa, M. 1995. Physiological studies on growth and active constituents of *Aloe vera* L. J. Agric. Res. 47: 151-162.
31. Paeza, A., G. Michael Gebre, M.E. Gonzales and T.J. Tschaplinski. 2000. Growth, soluble carbohydrate, and aloin concentration of Aloe vera plants exposed to three irradiance levels. Environ. Exp. Bot. 44: 133-139.
32. Reynolds, T. and A.C. Dweck. 1999. Aloe vera leaf gel: A review update. J. Ethnopharmacol. 68: 3-37.
33. Sudhire, P. and S.D.S. Murthy. 2004. Effect of salt stress on basic processes of photosynthesis. Photosynthetica 42: 481-486.
34. Sultana, N., T. Ikeda and R. Itoh. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environ. Exp. Bot. 42: 211-220.
35. Yazici, I., I. Turkan, A.H. Sekmen and T. Demiral. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. Environ. Exp. Bot. 61: 49-57.
36. Zan, M.J., H.W. Chang, P.L. Zhao and J.G. Wei. 2007. Physiological and ecological characters studies on loe vera under soil salinity and seawater irrigation. Process Biochem. 42: 710-714.